

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (подпись) Юнаков Л. П.
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Направление/специальность подготовки	24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика
Специализация/профиль/программа подготовки	Информационно-измерительная техника и технологии
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	АЗ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
3	5	3	108	51	17	17	17	57	0	0	57	диф. зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Циркунов Юрий Михайлович, д.ф.-м.н., профессор, профессор

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А3 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ

Заведующий кафедрой Бабук В.А., д.т.н., проф.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 — способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ОПК-1

знания:

Знает теорию и основные законы в области естественнонаучных и общетехнических дисциплин;

умения:

Умеет применять методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;

навыки:

Имеет навыки математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ФИЗИКА, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ТЕРМОДИНАМИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ РКТ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум	Практические занятия		
3	5	Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики. Основные понятия и определения. Аэрогидрогазодинамика как раздел механики. Задачи, решаемые аэрогидрогазодинамикой. Разделы аэрогидрогазодинамики. Понятие сплошной среды. Понятие легкодеформируемой (текучей) среды. Сжимаемая и несжимаемая среда. Понятие жидкой частицы и скорости жидкой частицы. Термодинамические параметры газов и паров. Совершенные газы. Вязкость и теплопроводность газов. Невязкие и нетеплопроводные (изентропические) течения. Внутренняя энергия и энтальпия газовых потоков.	3	1	1	0	0	2	6
3	5	Раздел 2. Плоские безвихревые установившиеся течения несжимаемой жидкости. Определение. Система уравнений. Потенциал скоростей. Функция тока. Комплексный потенциал и комплексная скорость. Примеры плоских безвихревых течений в терминах комплексного потенциала. Однородный поток. Источник/сток. Течение, индуцированное вихревой нитью. Примеры плоских безвихревых течений в терминах комплексного потенциала. Диполь.	8	2	1	0	1	6	6
3	5	Раздел 3. Уравнения законов сохранения в механике жидкости и газа. Вывод уравнения неразрывности, уравнения закона изменения количества движения, уравнения для внутренней энергии. Формула Коши. Тензор напряжений Симметрия тензора напряжений в обычных условиях.	5	3	1	0	2	2	6
3	5	Раздел 4. Поперечное потенциальное обтекание кругового цилиндра. Общий вид комплексного потенциала. Обтекание неподвижного цилиндра. Комплексный потенциал течения, индуцированного движущимся в неподвижной жидкости цилиндром. Главный вектор сил. Парадокс Даламбера. Сравнение теории с экспериментом.	14	8	1	6	1	6	6
3	5	Раздел 5. Метод конформных отображений. Общий вид комплексного потенциала течения около произвольного контура в случае, если известно конформное отображение внешности контура на внешность круга. Поперечное обтекание эллиптического цилиндра.	8	2	1	0	1	6	6
3	5	Раздел 6. Кинематика сплошной среды. Траектория жидкой частицы и линия тока. Поле скоростей сплошной среды в окрестности точки. Теорема Гельмгольца. Тензор скоростей деформаций, физический смысл его компонент.	4	2	1	0	1	2	6
3	5	Раздел 7. Реологические модели сплошной среды. Модель идеальной жидкости. модель вязкой ньютоновской жидкости. Коэффициенты вязкости для капельной жидкости и газа. Формула Сатерленда.	4	2	1	0	1	2	6
3	5	Раздел 8. Постулат Чаплыгина-Жуковского для профиля с задней острой кромкой. Вычисление циркуляции. Формулы Чаплыгина-Блазуса для главного вектора и главного момента сил давления, действующих на профиль при его безотрывном обтекании. Теорема Жуковского для подъемной силы. Выражение главного момента сил давления через циркуляцию.	16	9	2	6	1	7	6
3	5	Раздел 9. Вектор плотности потока тепла. Термодинамическая модель среды. Закон Фурье. Число Прандтля. Совершенный газ. Несжимаемая жидкость.	4	2	1	0	1	2	6
3	5	Раздел 10. Решение задач об обтекании профилей Жуковского. Безотрывное обтекание пластинки под углом атаки безвихревым потоком идеальной несжимаемой жидкости. Построение профилей Жуковского. Профили Кармана-Трефтца. Сравнение теории с экспериментом.	16	9	2	5	2	7	6
3	5	Раздел 11. Элементы теории крыла конечного размаха. Основные допущения и вихревая схема крыла Прандтля. Индуктивная скорость и угол схода потока. Метод плоских сечений. Вычисление силы сопротивления и подъемной силы. Качество крыла и наивыгоднейшая форма крыла в плане. Распределение циркуляции по длине крыла.	9	3	1	0	2	6	6
3	5	Раздел 12. Замкнутые системы уравнений. Постановки задач для 1) невязкого нетеплопроводного газа, 2) вязкой несжимаемой жидкости, 3) вязкого сжимаемого газа.	5	2	1	0	1	3	6
3	5	Раздел 13. Интегралы системы уравнений движения идеальной жидкости. Функция приведенного расхода. Адиабата. Изэнтропические и адиабатические течения. Адиабата Пуассона. Уравнение движения идеального газа в форме Громеки-Лэмба. Интеграл Бернулли: общий вывод и частные случаи. Газодинамические функции изэнтропического течения. Примеры на использование интеграла Бернулли. Критические параметры и теоретическая максимальная скорость газа. Квазидномерные установившиеся движения жидкости. Течение газа в сопле Лаваля. Расчетный и нерасчетный режимы.	4	2	1	0	1	2	6
3	5	Раздел 14. Сильные и слабые разрывы в газовой динамике. Условия динамической совместности на сильных разрывах. Контактные разрывы и ударные волны. Адиабата Рэнкина-Гюгонио. Трубка Пито-Прандтля Прямой скачок уплотнения. Косой скачок уплотнения.	4	2	1	0	1	2	11
3	5	Раздел 15. Задача Блазуса о продольном обтекании плоской пластины. Формулировка основных допущений и вывод Прандтля уравнений пограничного слоя. Оценка толщины пограничного слоя. Коэффициент местного трения. Сопротивление трения пластины конечной длины. Элементы теории турбулентного пограничного слоя.	4	2	1	0	1	2	11
Всего за 5 семестр			108	51	17	17	17	57	100
Всего по дисциплине			108	51	17	17	17	57	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Плоские безвихревые установившиеся течения несжимаемой жидкости.	Потенциал скоростей. Функция тока. Примеры плоских безвихревых течений в терминах комплексного потенциала.	1
2	Раздел 3. Уравнения законов сохранения в механике жидкости и газа.	Понятие «точки» пространства сплошной среды. Критерий сплошности – число Кнудсена (Kn). Количественные характеристики линейной и объемной деформации. Скорость линейной и объемной деформации. Зависимость скорости деформации от возникающих в среде напряжений. Совершенный газ. Уравнение Клайперона. Коэффициент вязкости. Гипотеза Ньютона. Коэффициент теплопроводности. Закон Фурье. Теплоёмкость газов C_p и C_v . Энтропия. Внутренняя энергия и энтальпия. Изэнтропическое течение.	2
3	Раздел 4. Поперечное потенциальное обтекание кругового цилиндра.	Обтекание неподвижного цилиндра. Парадокс Даламбера.	1
4	Раздел 5. Метод конформных отображений.	Поперечное обтекание эллиптического цилиндра.	1
5	Раздел 6. Кинематика сплошной среды.	Закон сохранения энергии для жидкой частицы. Источники и стоки массы. Дивергенция скорости. Физический смысл «прямых» производных скорости.	1
6	Раздел 7. Реологические модели сплошной среды.	Второй закон Ньютона для движущейся в гравитационном поле жидкой частицы в отсутствие вязкого трения. Градиент давления. Начальные и граничные условия. Случай покоящейся тяжелой жидкости. Уравнение гидростатики.	1
7	Раздел 8. Постулат Чаплыгина-Жуковского для профиля с задней острой кромкой.	Формулы Чаплыгина-Блазиуса для главного вектора и главного момента сил давления, действующих на профиль при его безотрывном обтекании.	1
8	Раздел 9. Вектор плотности потока тепла. Термодинамическая модель среды.	Струйка тока. Полная энергия потока. Уравнение энергии. Изэнтропическое стационарное течение. Уравнение Бернулли в общем виде и для несжимаемого и сжимаемого течений. Максимальная скорость потока.	1
9	Раздел 10. Решение задач об обтекании профилей Жуковского.	Построение профилей Жуковского и решение задач об обтекании профилей Жуковского.	2
10	Раздел 11. Элементы теории крыла конечного размаха.	Основные допущения и вихревая схема крыла Прандтля.	2
11	Раздел 12. Замкнутые системы уравнений.	Малые возмущения упругой среды (звук) и скорость звука. Звуковое давление. Логарифмическая шкала для измерения интенсивности (силы) звука (Дб и ДБа). Число Маха. Система уравнений для изэнтропического сжимаемого стационарного течения совершенного газа. Газодинамические функции. Критическое течение и критические параметры течения.	1
12	Раздел 13. Интегралы системы	Приемники (трубки) давления: Пито, Прандтля, Пито-Прандтля. Трубка Вентури. Расчет полного и статического давлений потока	1

	уравнений движения идеальной жидкости. Функция приведенного расхода.	по измерениям приемников давления. Аэродинамические силы, моменты и коэффициенты. Устойчивость ЛА	
13	Раздел 14. Сильные и слабые разрывы в газовой динамике.	Сопло Лаваля. Режимы истечения. Расчет параметров течения в сопле Лаваля (одномерное течение). Расчет параметров течения в сопле Лаваля (двумерное течение). Расход газа через сопло. Нерасчетность струи. Реактивная сила (тяги) сопла.	1
14	Раздел 15. Задача Блазиуса о продольном обтекании плоской пластины.	Вязкость. Число Рейнольдса. Ламинарное и турбулентное течения. Пограничный слой. Скачок уплотнения. Соотношение параметров на скачке. Адиабата Рэнкина-Гюгонио. Расчет полного и статического давлений сверхзвукового потока по измерениям трубкой Пито-Прандтля. Потеря полного давления на скачке	1
Всего за 5 семестр			17

3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 4. Поперечное потенциальное обтекание кругового цилиндра.	1) Исследование аэродинамических характеристик профиля с помощью весовых измерений. 2) Расчет коэффициента сопротивления крылового профиля по измеренному распределению давления на его поверхности. 3) Исследование распределения давления по поверхности поперечно обтекаемого кругового цилиндра.	6
2	Раздел 8. Постулат Чаплыгина-Жуковского для профиля с задней острой кромкой.	4) Истечение газа из сосуда конечного размера	6
3	Раздел 10. Решение задач об обтекании профилей Жуковского.	5) Изучение скачков уплотнения на примере перерасширенной струи	5
Всего за 5 семестр			17

3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики. Основные понятия и определения.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	2
2	Раздел 2. Плоские безвихревые установившиеся течения несжимаемой жидкости.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	6
3	Раздел 3. Уравнения законов сохранения в механике жидкости и газа.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	2
4	Раздел 4. Поперечное потенциальное обтекание кругового цилиндра.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	6
5	Раздел 5. Метод конформных	Изучение предусмотренных программой	6

	отображений.	дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	
6	Раздел 6. Кинематика сплошной среды.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	2
7	Раздел 7. Реологические модели сплошной среды.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	2
8	Раздел 8. Постулат Чаплыгина-Жуковского для профиля с задней острой кромкой.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	7
9	Раздел 9. Вектор плотности потока тепла. Термодинамическая модель среды.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	2
10	Раздел 10. Решение задач об обтекании профилей Жуковского.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	7
11	Раздел 11. Элементы теории крыла конечного размаха.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	6
12	Раздел 12. Замкнутые системы уравнений.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	3
13	Раздел 13. Интегралы системы уравнений движения идеальной жидкости. Функция приведенного расхода.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	2
14	Раздел 14. Сильные и слабые разрывы в газовой динамике.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	2
15	Раздел 15. Задача Блазиуса о продольном обтекании плоской пластины.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	2
Всего за 5 семестр			57

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5			ЛР		ТекК	ДР	ЛР		ЛР	ДР	ЛР		ТекК, ЛР		ТекК	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ЛР – лабораторная работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- лабораторная работа;
- вопросы для текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Гусев. . Механика жидкости и газа. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
2. А. З. Копылов, Е. И. Агеев. . Гидродинамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, эл. рес.
3. В. А. Зазимко, П. Д. Горохова. . Тензорный анализ в газовой динамике. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 39 экз.
4. В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 148 экз.
5. Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, эл. рес.
6. Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 61 экз.
7. Е. И. Агеев, А. З. Копылов. Механика жидкости и газа. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, 77 экз.
8. Е. И. Агеев, А. З. Копылов. . Механика жидкости и газа. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, эл. рес.
9. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017, 50 экз.
10. Л. Г. Лойцянский. . Механика жидкости и газа. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987, 27 экз.
11. М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, эл. рес.
12. С. В. Валландер. . Лекции по гидроаэромеханике. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005, 50 экз.
13. Ю. М. Циркунов, Н. В. Тарасова. . Методы возмущений в задачах аэродинамики. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007, 39 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. Курс теоретической механики. Т. I Статика и кинематика. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1982, 2 экз.

5.3. Периодические издания:

1. Вестник академии военных наук.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
2. <https://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
3. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

1. Matlab 2015a SP1;
2. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
3. Google Chrome;
4. Microsoft Office.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

1. Проектор;
2. Ansys Multiphysics 2017 Teaching Advanced;
3. Google Chrome;
4. Matlab 2015a SP1;
5. Microsoft Office.

6.3. Лабораторные занятия:

1. Проектор;
2. Установка для изучения истечения газа из баллона;
3. Matlab 2015a SP1.

6.4. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:
ОПК-1 способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением газодинамических процессов. Обучающиеся знакомятся с основами теоретической и прикладной механики жидкости и газа, что служит основой их дальнейшей профессиональной деятельности.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- лабораторная работа;
- вопросы для текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики. Основные понятия и определения.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1) В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1) Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1)	2
Итого по разделу 1		2
Раздел 2. Плоские безвихревые установившиеся течения несжимаемой жидкости.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (12, раздел 1-4) Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (12, раздел 1-4)	6
Итого по разделу 2		6
Раздел 3. Уравнения законов сохранения в механике жидкости и газа.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2) В. А. Зазимко, П. Д. Горохова. . Тензорный анализ в газовой динамике: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1-2) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (1-2)	2
Итого по разделу 3		2
Раздел 4. Поперечное потенциальное обтекание кругового цилиндра.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (12, раздел 5)	6

	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (4)	
Итого по разделу 4		6
Раздел 5. Метод конформных отображений.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (12, раздел 7-8)	6
Итого по разделу 5		6
Раздел 6. Кинематика сплошной среды.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	Е. И. Агеев, А. З. Копылов. Механика жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-2) В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2) Е. И. Агеев, А. З. Копылов. . Механика жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-2)	2
Итого по разделу 6		2
Раздел 7. Реологические модели сплошной среды.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1-3) Е. И. Агеев, А. З. Копылов. . Механика жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-3) Ю. М. Циркунов, Н. В. Тарасова. . Методы возмущений в задачах аэродинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007 (1-2)	2
Итого по разделу 7		2
Раздел 8. Постулат Чаплыгина-Жуковского для профиля с задней острой кромкой.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (12, раздел 10-15) В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (5)	7
Итого по разделу 8		7
Раздел 9. Вектор плотности потока тепла. Термодинамическая модель среды.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	Л. Г. Лойцянский. . Механика жидкости и газа: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987 (2) В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2-3) Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. Курс теоретической механики. Т. I Статика и кинематика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1982 (1-2)	2
Итого по разделу 9		2
Раздел 10. Решение задач об обтекании профилей Жуковского.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (12, раздел 15)	7
Итого по разделу 10		7

Раздел 11. Элементы теории крыла конечного размаха.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям.	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (17, раздел 2-4) Г. А. Акимов, В. А. Зазимко ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (17, раздел 2-4)	6
Итого по разделу 11		6
Раздел 12. Замкнутые системы уравнений.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3) С. В. Валландер. . Лекции по гидроаэромеханике: СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005 (1-3)	3
Итого по разделу 12		3
Раздел 13. Интегралы системы уравнений движения идеальной жидкости. Функция приведенного расхода.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3) Л. Г. Лойцянский. . Механика жидкости и газа: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987 (2-3) А. А. Гусев. . Механика жидкости и газа: Москва: Юрайт, 2020 (2)	2
Итого по разделу 13		2
Раздел 14. Сильные и слабые разрывы в газовой динамике.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	А. З. Копылов, Е. И. Агеев. . Гидродинамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (2) Е. И. Агеев, А. З. Копылов. Механика жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (3)	2
Итого по разделу 14		2
Раздел 15. Задача Блазиуса о продольном обтекании плоской пластины.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1-4) М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (1-3)	2
Итого по разделу 15		2

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- лабораторная работа;
- дифференцированный зачет.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Вопросы для текущего контроля

Вопросы для текущего контроля входят в состав УМК дисциплины.

Лабораторная работа

Допуск к ЛР. Допуск к выполнению ЛР происходит при представлении студентом в письменном виде описания, содержащего постановку задачи лабораторной работы, план выполнения лабораторной работы и цели предлагаемого исследования и в форме устного собеседования по тематике лабораторной работы. Ответы на более чем 50% вопросов является допуском к лабораторной работе.

Отчёт по ЛР. Отчёт по лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчёта по лабораторной работе. Отчет должен содержать: цель ЛР, физическую постановку задачи, математическую модель, результаты исследования, представленные в численном виде и в виде графика, анализа полученных результатов и выводов по ЛР. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Процедура защиты включает ответы на вопросы преподавателя по работе и разделу курса. В ходе защиты лабораторной работы обучающиеся должны продемонстрировать культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала, необходимые начальные знания по существу обсуждаемой темы. Оценивается по 8-и балльной шкале:

8-5 баллов – отчет оформлен в соответствии с требованиями, в ходе собеседования студент ответил на все вопросы, защита ЛР выполнена в срок две недели после проведения работы

4-2 балла – отчет оформлен в соответствии с требованиями, в ходе собеседования студент ответил на все вопросы, защита ЛР выполнена в срок 4 недели после проведения работы или отчет оформлен с нарушениями, в ходе собеседования студент ответил не на все вопросы, защита ЛР выполнена в срок 2 недели после проведения работы

1 балл – отчет оформлен в соответствии с требованиями, в ходе собеседования студент ответил на все вопросы, защита ЛР выполнена в срок до конца семестра

0 баллов - отчет не предоставлен или выполнен с грубыми нарушениями.

Основаниями для доработки или снижения баллов могут служить:

- небрежное выполнение,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках),

Отчёт не может быть принят и подлежит переработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов расчётов.

Дифференцированный зачет

Итоговый контроль по дисциплине за 5 семестр проходит в форме дифференцированного зачёта, включающего в себя два контрольных вопроса.

Знания, умения и навыки студентов определяются следующим образом:

Оценки «зачтено - отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной

программой. Как правило, оценка «зачтено - отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала.

Оценки «зачтено - хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «зачтено - хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

Оценки «зачтено - удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «зачтено - удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «не зачтено» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Список вопросов представлен в УМК дисциплины.

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум	Практические занятия		ОПК-1	
3	5	Раздел 1. Предмет аэрогазодинамики. Основные понятия и определения.	3	1	1	0	0	2	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 2. Плоские безвихревые установившиеся течения несжимаемой жидкости.	8	2	1	0	1	6	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 3. Уравнения законов сохранения в механике жидкости и газа.	5	3	1	0	2	2	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 4. Поперечное потенциальное обтекание кругового цилиндра.	14	8	1	6	1	6	6	Вопросы для текущего контроля, Лабораторная работа
3	5	Раздел 5. Метод конформных отображений.	8	2	1	0	1	6	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 6. Кинематика сплошной среды.	4	2	1	0	1	2	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 7. Реологические модели сплошной среды.	4	2	1	0	1	2	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 8. Постулат Чаплыгина-Жуковского для профиля с задней острой кромкой.	16	9	2	6	1	7	6	Вопросы для текущего контроля, Лабораторная работа
3	5	Раздел 9. Вектор плотности потока тепла. Термодинамическая модель среды.	4	2	1	0	1	2	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 10. Решение задач об обтекании профилей Жуковского.	16	9	2	5	2	7	6	Вопросы для текущего контроля, Лабораторная работа
3	5	Раздел 11. Элементы теории крыла конечного размаха.	9	3	1	0	2	6	6	Вопросы для текущего контроля, Лабораторная работа

3	5	Раздел 12. Замкнутые системы уравнений.	5	2	1	0	1	3	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 13. Интегралы системы уравнений движения идеальной жидкости. Функция приведенного расхода.	4	2	1	0	1	2	6	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 14. Сильные и слабые разрывы в газовой динамике.	4	2	1	0	1	2	11	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 15. Задача Блазиуса о продольном обтекании плоской пластины.	4	2	1	0	1	2	11	Вопросы для текущего контроля
Всего за 5 семестр			108	51	17	17	17	57	100	
Всего по дисциплине			108	51	17	17	17	57	100	

Критерии оценивания

ОПК-1

	<i>Вопросы открытого типа:</i>
№ 1	Течение газа в сопле Лавала на сверхкритическом режиме является _____
№ 2	Приведите качественное объяснение возникновения подъемной силы у крылового профиля при нулевом угле атаки при ламинарном безотрывном обтекании потоком воздуха (верхний контур профиля длиннее нижнего контура)
№ 3	В аэродинамике можно считать газ несжимаемым, если
№ 4	Опишите словами определение числа Маха
№ 5	В задачах аэродинамики как правило можно пренебречь при записи интеграла Бернулли _____
№ 6	При выполнении интеграла адиабаты Лапласа-Пуассона вдоль линии тока энтропия _____
№ 7	Какие допущения использованы для вывода интеграла Бернулли?
№ 8	Какие допущения использованы для вывода интеграла адиабаты Лапласа-Пуассона?
№ 9	Какие граничные условия необходимо задать на поверхности \$\$\$\$ твердого тела для идеального нетеплопроводного газа?
№ 10	Какие граничные условия необходимо задать на поверхности \$\$\$\$ твердого тела для вязкого совершенного газа?
	<i>Вопросы закрытого типа:</i>
№ 1	Что является предметом курса классической теоретической Механики Жидкости и Газа (МЖГ)
	Раздел механики, в котором изучаются законы движения и равновесия жидкостей и газов
	Раздел механики, в котором изучаются законы равновесия течений жидкостей и газов с обтекаемыми поверхностями тел
	Раздел механики, в котором изучаются физические и химические процессы, протекающие в жидкостях и газах
	Раздел механики, в котором изучаются фазовые переходы между жидкостями и газами
№ 2	Какие постулаты всегда принимаются в классической теоретической Механике Жидкости и Газа (МЖГ)
	Евклидовость пространства
	Абсолютность времени
	Сплошность среды
	Стационарность течения
№ 3	Учет вязкости среды на основе модели ньютоновской жидкости
	Что позволяют использовать постулаты о евклидовости пространства и абсолютности времени
	Использовать механику Ньютона
	Зависимость координат пространства от времени и скорости движения
	Специальную теорию относительности
№ 4	Что позволяет использовать постулат (гипотеза) сплошности
	Непрерывность полей параметров газодинамических функций и аппарат математического анализа
	Молекулярнокинетическую теорию

- № 5 Принцип обратимости движения
Дополнительно к трем основным постулатам МЖГ принимается гипотеза о справедливости классической термодинамики, что это означает и чем позволяет пользоваться
- Время прихода элементарной жидкой частицы в термодинамическое равновесие много меньше времени заметного изменения газодинамических параметров при ее движении. Можно считать, что среда в частице находится в термодинамическом равновесии и использовать законы классической термодинамики
- Время прихода элементарной жидкой частицы в термодинамическое равновесие много больше времени заметного изменения газодинамических параметров при ее движении. Можно считать, что среда в частице находится в термодинамическом равновесии и использовать законы классической термодинамики
- № 6 Каким критериям отвечает вводимый в постулате сплошности физический бесконечномалый объем (элементарная жидкая частица)
- Это объем, который содержит настолько много молекул, чтобы средние характеристики (плотность и другие) были устойчивы к изменению этого объема
- Это объем, размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с размером характерного газодинамического течения L , так что его средние характеристики (плотность и другие) не зависят от размера этого объема
- Число Кнудсена $Kn \ll 1$
- Характерный размер течения L должен быть величиной порядка длины свободного пробега молекул
- № 7 Количество молекул в объеме должно быть не менее 1 миллиона
Что описывает метод Эйлера в гидродинамике
- Описание течения жидкостей и газов с помощью полей параметров
- Описание течения жидкостей и газов через описание движения индивидуальных жидких элементарных частиц
- № 8 Что описывает метод Лагранжа в гидродинамике
- Описание течения жидкостей и газов через описание движения индивидуальных жидких элементарных частиц
- № 9 Описание течения жидкостей и газов с помощью полей параметров
Скорость объемного расширения жидкости описывается выражением
- $$\mathbf{I} = \text{div } \mathbf{v}$$
- $$\mathbf{I} = \text{grad } v$$
- $$\mathbf{I} = \text{rot } \mathbf{v}$$
- № 10 Дифференциальная форма записи закона сохранения массы, который называется уравнением неразрывности, описывается выражением
- $$\frac{d\rho}{dt} + \rho \text{div } \mathbf{v} = 0$$
- $$\frac{d\rho}{dt} + \text{div } (\rho \mathbf{v}) = 0$$